



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Off nl gungsschrift
⑩ DE 42 28 344 A 1

⑤1 Int. Cl.⁵:
G 03 F 7/16
B 05 B 5/00
B 05 B 5/03
B 05 D 1/02

②1 Aktenzeichen: P 42 28 344.2
②2 Anmeldetag: 26. 8. 92
④3 Offenlegungstag: 10. 3. 94

DE 42 28 344 A 1

⑦1 Anmelder:

Institut für Chemo-u.Biosensorik e.V., 48565
Steinfurt, DE

*Complete
copy*

⑦2 Erfinder:

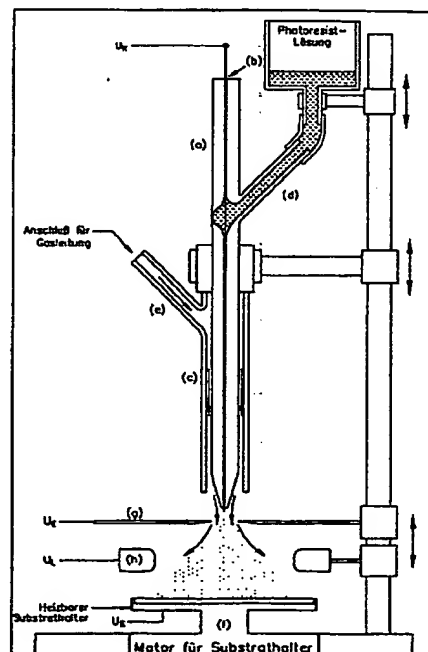
Feld, Herbert, Dr., 4400 Münster, DE; Sundermeier,
Christian, Dipl.-Ing., 4400 Münster, DE; Knoll,
Meinhard, Prof. Dr., 4430 Steinfurt, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren zur Photoresistbeschichtung von mikromechanisch dreidimensional strukturierten Bauteilen in der Mikrostrukturtechnik sowie Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens

⑤7 Verfahren zur Photoresistbeschichtung von mikromechanisch dreidimensional strukturierten Bauteilen in der Mikrostrukturtechnik sowie Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Mit Hilfe der bekannten Verfahren des Spin-On- und der Trocken-Resist-Beschichtung lassen sich dreidimensional strukturierte Oberflächen nicht mit Photoresist bedecken. Das neue Verfahren erlaubt die gleichmäßige Beschichtung beliebiger Oberflächen mittels einer Kombination aus einer elektrohydrodynamischen Ionenquelle und der Ionenspray-Methode.



DE 42 28 344 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Photoresist-Beschichtung von mikromechanisch dreidimensional strukturierten Bauteilen in der Mikrostrukturtechnik mittels einer Kombination aus elektrohydrodynamischer Ionenquelle und der Ionenspray-Methode. Die Erfindung betrifft ferner eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Beschichtungsverfahren der vorgenannten Art lassen sich u. a. in folgenden Bereichen einsetzen:

- Halbleitertechnologie, Beschichtung von
 - Leiterplatten
 - Hybridschaltungen
 - Wafern
- Mikrostrukturtechnik, Beschichtung von
 - LIGA-Strukturen (E.W. Becker, W. Ehrfeld, P. Hagmann, A. Maner, D. Münchmeyer: Fabrication of Microstructures with High Aspect Ratios and Great Structural Heights by Synchrotron Radiation Lithography, Galvanofarming, and Plastic Moulding (LIGA Process); Microelectronic Engineering 4 (1986) 35).
 - dreidimensional strukturierten Kunststoff- oder Keramikbauteilen.

Als konventionelle Methoden zur Herstellung dünner Photoresist-Schichten sind bekannt:

- Schleuderbeschichtung (Spin-on-Verfahren)
Ein Tropfen des in einem Lösungsmittel gelösten Photoresists wird auf das Substrat aufgebracht, welches in Rotation (typisch: 5000 min^{-1}) versetzt wird. Durch die auftretenden Zentrifugalkräfte bildet sich ein homogener Photoresist-Film, dessen Schichtdicke von der Drehzahl des Substrates und der Viskosität des Photoresists abhängt (siehe: D. Widmann, H. Mader, H. Friedrich: Technologie hochintegrierter Schaltungen; Springer-Verlag, Berlin 1988).
- Elektrostatische Sprühbelackung
Dieses Verfahren wird zur Beschichtung von großflächigen stark strukturierten Bauteilen i. allg. in der Form der elektrostatischen Pulverbeschichtungstechnik angewandt (siehe J.F. Hughes: Electrostatic Powder Coating; in: Encyclopedia of Physical Science and Technology, Vol. 4; Academic Press, London 1987). In neuerer Zeit wird bei vielen Anwendungen immer mehr die Verbindung der elektrostatischen Sprühbelackung mit der sog. Hochrotationszerstäubung eingesetzt (B. Böndel, VDI Nachrichten, 46(13) (1992) S.15). Der Einsatz dieser Techniken zur Photoresist-Beschichtung ist nur in wenigen Fällen bekannt (siehe: Produktinformation der Firma Böllhoff Verfahrenstechnik: Rationelle Beschichtungstechnologie für die Elektronik, Druckschrift 13-01D, Fa. Böllhoff Verfahrenstechnik, Duisburger Str. 7, 4800 Bielefeld 14). Der mit Lösungsmittel vermischte Photoresist trifft hier auf eine mit hoher Drehzahl r tierende Sprühglocke ($\leq 35000 \text{ min}^{-1}$), die am äußeren Rand mit kleinen Öffnungen versehen ist. Durch die auftretenden Zentrifugalkräfte wird die Photoresist-Lösung nach außen geschleudert und durch die Öffnungen der Sprühglocke gedrückt. Dabei werden die entstehenden Tröpfchen durch Rotation elektrisch aufgeladen. Die Tröpfchenbildung ist also

rein mechanisch; die hohen eingesetzten Spannungen ($\leq 100 \text{ kV}$) zwischen der Rotationsglocke und dem zu beschichtenden Substrat dienen der Fokussierung der Tröpfchen auf das Substrat. Die Tröpfchengröße hängt von der Anzahl und Größe der Öffnungen, der zugeführten Photoresist-Menge und der Drehzahl der Sprühglocke ab.

— Trocken-Resist

Eine Photoresist-Folie wird in einem sog. Laminator auf das Substrat mit Hilfe von Druck (typisch: einige bar) und Wärme (typische Temperaturen um 110°C) aufgebracht (siehe J.G. Fish: Organic Polymer Coatings; in: Deposition Technologies for Films and Coatings, Noyes Publication, Park Ridge (N.J.) 1982).

Nachteilig ist bei diesen Verfahren:

1. Die zu beschichtenden Bauteile unterliegen sowohl beim Spin-on Verfahren als auch beim Trocken-Resist Verfahren einer relativ hohen mechanischen Beanspruchung. Deshalb ist eine Beschichtung von mechanisch empfindlichen Substraten nicht möglich.
2. Dreidimensional strukturierte Bauteile können mit dem Trocken-Resist Verfahren nicht beschichtet werden.
3. Scharfe Kanten auf mikromechanisch strukturierten Bauteilen werden beim Spin-on Verfahren unvollständig oder überhaupt nicht bedeckt (Filmabriß).
4. Elektrostatische Sprühbelackung:
Damit das Material nicht durch die sehr starken Zentrifugalkräfte im ganzen das Sprüh-System umgebenden Raum verteilt wird, müssen relativ hohe Spannungen (Bereich: 100 kV) zwischen Sprühglocke und Substrat angelegt werden. Auf Grund dieser hohen Spannungen sind aufwendige Sicherheitsmaßnahmen erforderlich. Zudem erfordert die Hochrotationszerstäubung eine hochwertige sehr teure Mechanik, die mit hohen Wartungskosten verbunden ist. Problematisch ist auch der große Platzbedarf einer solchen Apparatur, was insbesondere bei Einsatz dieses Verfahrens in Reinräumen einen erheblichen Kostenfaktor darstellt. Ein weiterer Nachteil ist durch die mechanisch determinierte Tröpfchenbildung gegeben. Hierdurch kann die Tröpfchengröße nicht dynamisch an vorgegebene Oberflächenstrukturen der Substrate angepaßt werden.

Der Erfindung liegt also die Aufgabe zugrunde, mit einem preiswerten Verfahren homogene Photoresist-Schichten mit variabler Schichtdicke (typisch: $\leq 1 \mu\text{m}$) auf mikromechanisch dreidimensional strukturierten Bauteilen herzustellen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß geladene mesoskopische Photoresist-Tröpfchen durch eine elektrohydrodynamische (EHD) Ionenquelle erzeugt und durch Kombination mit der Ionenspray-Methode auf das zu beschichtende Substrat gesprüht werden.

Funktionsprinzip

Das Photoresist-Material wird in einem Lösungsmittel mit geeignetem Dampfdruck (meist Aceton oder Methanol) gelöst und einer — inneren — Kapillare aus Glas oder einem anderen elektrisch isolierenden Material zugeführt. Durch Kapillarkräfte wird die Photo-

sist-Lösung an einem in der Glaskapillaren befindlichen Metalldraht bis zu dessen Spitze entlang geführt, welche einige mm aus der Glaskapillaren herausragt. Kapillare und Draht arbeiten somit in der Form eines Nadelventils. An der Drahtspitze ist die Photoresist-Lösung der Einwirkung eines relativ hohen elektrischen Feldes (Größenordnung 10^6 V/m) ausgesetzt. Bei dem hier vorgestellten Verfahren handelt es sich um eine rein elektrohydrodynamische Tröpfchenbildung und Tröpfchenaufladung. Durch das Zusammenspiel von Oberflächenspannung der Lösung und elektrischem Feld bildet sich ein sog. Taylorkonus aus. Von diesem Konus werden bei geeigneter Wahl von elektrischer Feldstärke, Formgebung der Drahtspitze und Oberflächenspannung der Lösung sog. Jets emittiert, die zu kleinen Tröpfchen in der Gasphase führen. Diese Tröpfchen sind auf Grund von elektrophoretischer Ladungstrennung im Taylor-Konus hoch geladen (Elektrohydrodynamische Ionenquelle). Die aktuelle Feldstärke E_K an der Spitze der Kapillare (Spitzenradius: r_K), die sich im Abstand d von einem Substrat befindet, berechnet sich hierbei mit U_K als Potential des Metalldrahtes zu (siehe D.P.H. Smith, IEEE Trans. Ind. Appl., IA-22 (1986) 527 und L.B. Loeb, A.F. Kip, G.G. Hudson, W.H. Bennett, Phys. Rev., 60 (1941) 714):

$$E_K \approx \frac{2 \cdot U_K}{r_K \cdot \ln(4d/r_K)} \quad (1)$$

Die Instabilität des Taylorkonus, bei der der Sprayvorgang einsetzt, tritt nach Taylor (siehe G.I. Taylor, Proc. R. Soc. A, A280 (1964) 383) bei der Feldstärke E_{on} auf:

$$E_{on} = \left(\frac{2\gamma \cos \theta_0}{\epsilon_0 r_K} \right)^{1/2}, \quad (2)$$

hierbei sind θ_0 der halbe Öffnungswinkel des Taylorkonus und γ die Oberflächenspannung der Flüssigkeit. Mit $\theta_0 = 49,3^\circ$ für den Taylorkonus gilt dann für die entsprechende Spannung bei Einsetzen des Sprühvorganges:

$$U_{on} \approx 2 \cdot 10^5 \sqrt{\gamma \cdot r_K} \cdot \ln \frac{4d}{r_K}. \quad (3)$$

Ohne Gaszufuhr durch eine weitere — äußere — Kapillare aus Glas oder einem anderen isolierenden Material ist die Tröpfchenbildung also auf eine durch die Oberflächenladung des Taylor-Konus bewirkte Instabilität zurückzuführen. Mit Gaszufuhr ist die Tröpfchenbildung nahezu ausschließlich durch den aus der äußeren Glaskapillaren zusätzlich austretenden turbulenten Gasfluß (meist Stickstoff) verursacht (Gasphasenreaktionen). Durch die zusätzliche Edelgasatmosphäre in der Nähe der Kapillarspitze wird die Bildung und Aufladung der Tröpfchen entkoppelt, d. h.: In diesem Fall wird die dale Funktion des elektrischen Feldes (Aufladung und Vernebelung des Photoresist-Materials) aufgehoben. Hierdurch erhöht sich die Anzahl der Freiheitsgrade für die Wahl der Flußrate der Lösung, der Tröpfchengröße und des Lösungsmittels. Es kann also gezielt Einfluß auf die Ladung und Größe der Tröpfchen genommen werden. Die Tröpfchen besitzen Durchmesser im mesoskopischen Bereich ($\varnothing = 0,05 - 1 \mu\text{m}$).

Der Transport der entstandenen Tröpfchen geschieht durch Drift im elektrischen Feld zum Substrat. Die versprühten Tröpfchen der Lösung enthalten noch Polymermolekülen und Lösungsmittelmoleküle. Bei geeignetem Abstand zwischen Kapillarende und Substratoberfläche verdampfen die Lösungsmittelmoleküle bevor die Tröpfchen die Oberfläche erreichen. Hierdurch wird ein direktes Fließen des Photoresists auf der Substratoberfläche verhindert. Mittels der Ionenlinse ist eine Fokussierung der Tröpfchen auf das Substrat und damit eine Einstellung der Größe des besprühten Substratbereiches möglich. Auf Grund dieses gezielten Versprühens besitzt das hier vorgestellte System eine Transferrate von nahezu 100%. Optional wird auch ein Gitter über dem Substrat bzw. ein Extraktor direkt vor der Kapillare eingesetzt. Das Gitter wird auf Substratpotential gelegt. Hierdurch entsteht zwischen Gitter und Substrat ein feldfreier Raum. Somit können Photoresist-Tröpfchen auch tiefe Gräben oder Hohlräume erreichen, in die sie sonst entsprechend des Verlaufes der elektrischen Feldlinien nicht gelangen würden. Der Extraktor dient im Zusammenspiel mit der Ionenlinse zur Strahlbildung bzw. Strahlfokussierung.

Obwohl es sich bei den üblichen Photoresist-Materialien um Mehrkomponenten-Systeme (internes und externes Lösungsmittel des Photoresist, schichtbildendes Novolack-Harz, Inhibitoren) handelt, findet weder eine Fraktionierung noch eine Degradation der Photopolymere statt. Somit können die erzeugten Photoresist-Schichten photolithographisch weiterverarbeitet werden. Eine besonders hohe Homogenität der aufgespritzten Schichten wird durch eine Prozeßführung unter Lösungsmittelatmosphäre oder durch eine Nachbehandlung der Photoresist-Filme in einer Lösungsmittelatmosphäre erreicht. Hierdurch kann ein lateraler Fließprozeß während oder im Anschluß an den Sprühprozeß gezielt eingestellt werden. Durch Rotation, Schwingung oder Translation des Substrates können beliebig orientierte Oberflächen beschichtet werden.

Die mit der Erfindung erzielten Vorteile sind

— im Vergleich zur elektrostatischen Sprühbelackung:

— Die Tröpfchengröße ist dynamisch einstellbar (z. B. durch die Gaszufuhr beim Ionenspray) und kann somit leicht an die jeweilige Problemstellung angepaßt werden. Die Durchmesser der Tröpfchen liegen zwischen $0,05 \mu\text{m}$ und $1 \mu\text{m}$.

— Es handelt sich um ein extrem wirtschaftliches Verfahren.

* Die Transferrate ist aufgrund der sehr kurzen Zuführungswege noch größer als bei der elektrostatischen Sprühbelackung und erreicht nahezu 100%.

* Die Anschaffungskosten der Vorrichtung sind um ca. eine Größenordnung niedriger (zwischen 10 000 DM und 20 000 DM).

* Der Platzbedarf der Vorrichtung ist sehr gering, was bei den hohen Unkosten pro Reinraumflächeneinheit von besonderer Bedeutung ist. Zudem ergibt sich aus dem geringen Platzbedarf die äußerst vorteilhafte Möglichkeit der Integration in eine bestehende Spin-Coating-Maschine als alternativen Prozeßschritt. Insbesondere ist die Benutzung des gleichen Aufbaus in ei-

nem späteren Prozeßschritt zum Versprühen des Entwicklers (sog. Spray-Entwicklung) vorgesehen.

— im Vergleich zum Spin-Coating und Trocken-Resist-Verfahren:

- Die Flugbahn der Photoresist-Tröpfchen ist durch den Verlauf der elektrischen Feldlinien vorgegeben. Auf Grund des elektrischen Spitzeneffektes werden Kanten oder Spitzen von mikromechanisch strukturierten Substratoberflächen bevorzugt bedeckt.
- Der Lackverbrauch ist deutlich geringer.
- Die Beschichtung beliebig orientierter Flächen (auch senkrechter Grabenwände) ist möglich. Hierzu wird das Substrat relativ zur sprühenden Kapillare mit geeigneter Geschwindigkeit bewegt (Translation, Rotation, Schwingung).
- Die Wandbedeckung in Hohlräumen ist möglich. Durch Rotation und Schwingung des Substrates wird der Photoresistnebel in Hohlräumen verwirbelt, wodurch dort eine Wandbedeckung stattfindet.
- Die Beeinflussung geladener Photoresist-Tröpfchen mittels ionenoptischer Linsen und Ablenkplatten eröffnet die Möglichkeit eines sog. Photoresist-Schreibens. Hierbei wird ein Ionenstrahl durch das System aus Extraktor und Ionenlinse geformt und zu einem kleinen Spot auf dem Substrat fokussiert. Mittels senkrecht (x- bzw. y-Richtung) zur Systemachse der Apparatur (z-Richtung) angebrachter Ablenkplatten können bei Anlegen bestimmter Potentiale gezielt Punkte auf der Substratoberfläche angesteuert und mit Photoresist beschichtet werden. Ein entsprechendes Layout für die zu beschichtenden Flächen kann über eine Computer-Software in die dazu notwendigen Potentiale von Linse, Extraktor, und Ablenkplatten umgerechnet und auf die Apparatur übertragen werden.

Ausführungsbeispiele

Der apparative Aufbau der Sprühhvorrichtung ist in Fig. 1 schematisch dargestellt. Die Vorrichtung besteht aus einer inneren Glaskapillare (a), die zentral einen Metalldraht ((b), meist aus Wolfram) enthält und von einer zweiten äußeren Glaskapillare (c) umgeben ist. Die innere Glaskapillare besitzt einen Anschluß (d) für die Zuführung der Photoresist-Lösung, während an der äußeren Glaskapillare ein Anschluß für eine Gasleitung (e) angebracht ist. Der Metalldraht und die Kapillaren stehen einem Substrathalter ((f), meist aus Metall) für die Aufnahme des zu beschichtenden Substrates in einem variablen Abstand koaxial gegenüber. Der heizbare Substrathalter kann durch einen Motor in vertikale Schwingungen, Translation und Rotation versetzt werden. Zwischen Metalldraht und Substrathalter wird durch eine Spannung von 1 bis 20 kV ein elektrisches Feld erzeugt. Metalldraht und Substrathalter sind isoliert aufgebaut, so daß beide Elemente auf ein Potential von bis zu ± 20 kV gelegt werden können. Zusätzlich ist zwischen ihnen ein Extraktor (g) und eine ionenoptische Linse (h) angebracht.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Photoresist-Beschichtung von mikromechanisch dreidimensional strukturierten Bauteilen in der Mikrostrukturtechnik, dadurch ge-

kennzeichnet, daß geladene mesoskopische Photoresist-Tröpfchen mit einem Durchmesser zwischen 0,05 und 1 μm durch eine elektrohydrodynamische Ionenquelle erzeugt und durch Kombination mit der Ionenspray-Methode auf das zu beschichtende Substrat gesprüht werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Photoresist-Material in einem Lösungsmittel mit geeignetem Dampfdruck gelöst und einer inneren Kapillare (a) aus elektrisch isolierendem Material zugeführt wird, in der sich ein Metalldraht (b) befindet, daß zwischen diesen Metalldraht und den Substrathalter (f) eine elektrische Spannung gelegt wird, die an der Drahtspitze eine elektrische Feldstärke in der Größenordnung von 10^6 V/m erzeugt und daß vom Taylorkonus aus Photoresisttröpfchen auf das Substrat gesprüht werden.

3. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 2, dadurch gekennzeichnet, daß durch eine äußere Kapillare (c) ein Gas strömt, das die Bildung von Photoresist-Tröpfchen bewirkt.

4. Verfahren nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das verwendete Lösungsmittel Aceton oder Methanol ist.

5. Verfahren nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das die äußere Kapillare (c) durchströmende Gas Stickstoff oder ein Edelgas ist.

6. Verfahren nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Strahl aus Photoresist-Tröpfchen mit Hilfe einer Ionenlinse (h) fokussiert und damit die Größe des besprühten Bereichs eingestellt wird.

7. Verfahren nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zur Durchführung von Schreibprozessen der fokussierte Photoresiststrahl mit Hilfe von Ablenkplatten abgelenkt wird.

8. Verfahren nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen den Kapillaren und dem Substrat ein Gitter (g) angeordnet wird, daß auf Substratpotential liegt und als Extraktorelektrode für die Photoresist-Tröpfchen wirkt.

9. Verfahren nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Sprühprozeß unter Lösungsmittelatmosphäre durchgeführt wird.

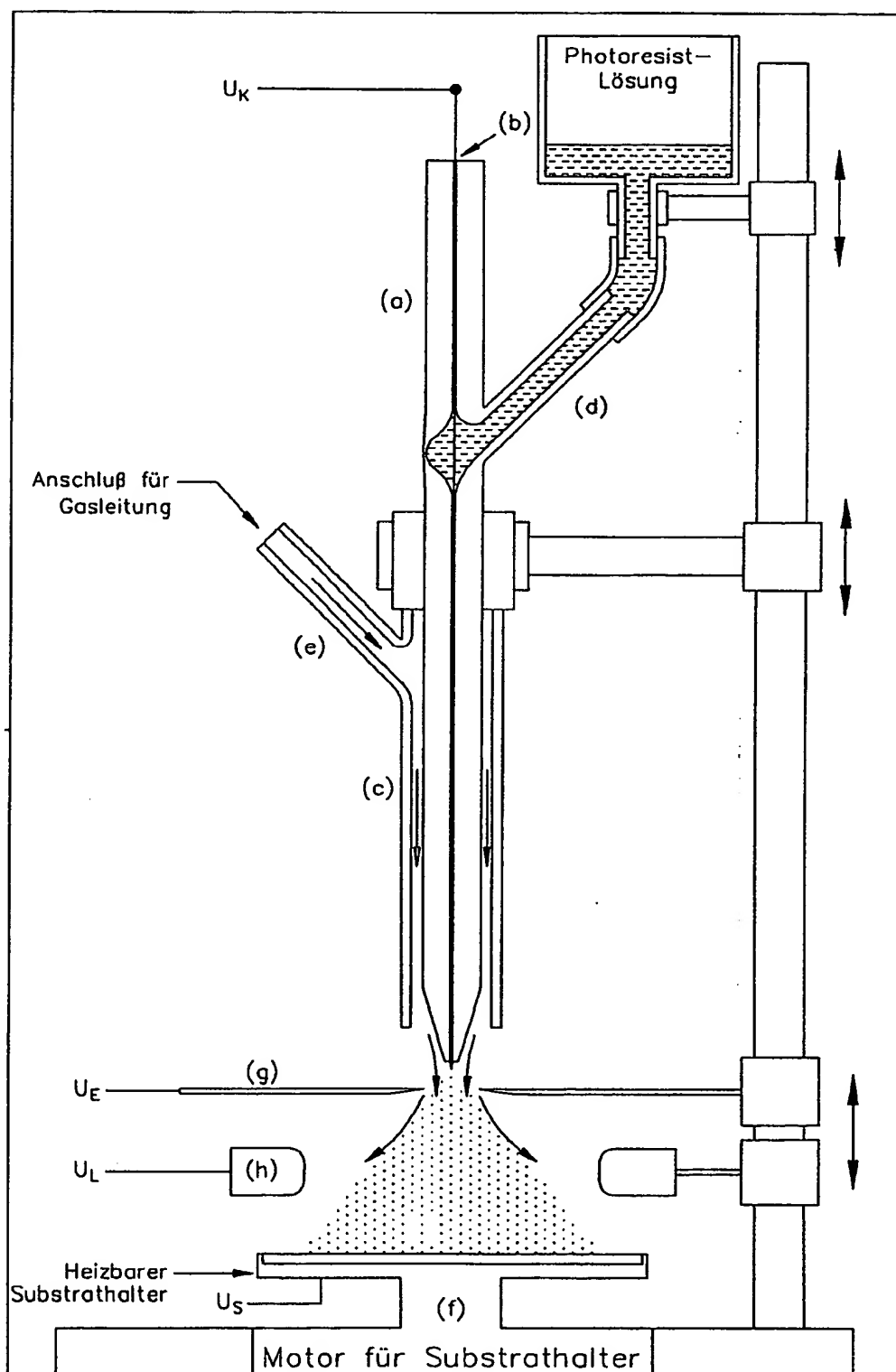
10. Verfahren nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die aufgesprühten Schichten in einer Lösungsmittelatmosphäre nachbehandelt werden.

11. Verfahren nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Substrathalter (f) eine Rotations-, Schwingungs- oder Translationsbewegung ausführt.

12. Vorrichtung für die Durchführung des Verfahrens nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 11.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -



Figur 1

X

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift
⑩ DE 42 28 344 A 1

⑤1 Int. Cl. 5:
G 03 F 7/16
B 05 B 5/00
B 05 B 5/03
B 05 D 1/02

②1 Aktenzeichen: P 42 28 344.2
②2 Anmeldetag: 26. 8. 92
④3 Offenlegungstag: 10. 3. 94

DE 42 28 344 A 1

⑦1 Anmelder:

Institut für Chemo-u. Biosensorik e.V., 48565
Steinfurt, DE

⑦2 Erfinder:

Feld, Herbert, Dr., 4400 Münster, DE; Sundermeier,
Christian, Dipl.-Ing., 4400 Münster, DE; Knoll,
Meinhard, Prof. Dr., 4430 Steinfurt, DE

*Incomplete
copy*

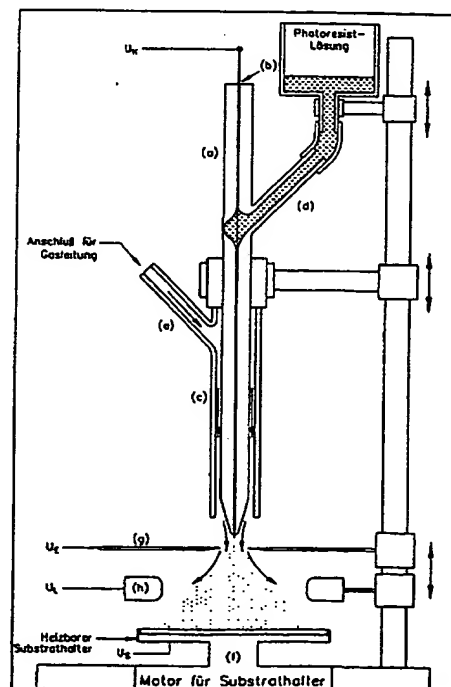
PTO 2003-1142

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren zur Photoresistbeschichtung von mikromechanisch dreidimensional strukturierten Bauteilen in der Mikrostrukturtechnik sowie Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens

⑤7 Verfahren zur Photoresistbeschichtung von mikromechanisch dreidimensional strukturierten Bauteilen in der Mikrostrukturtechnik sowie Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Mit Hilfe der bekannten Verfahren des Spin-On- und der Trocken-Resist-Beschichtung lassen sich dreidimensional strukturierte Oberflächen nicht mit Photoresist bedecken. Das neue Verfahren erlaubt die gleichmäßige Beschichtung beliebiger Oberflächen mittels einer Kombination aus einer elektrohydrodynamischen Ionenquelle und der Ionenspray-Methode.



DE 42 28 344 A 1

sist-Lösung an einem in der Glaskapillaren befindlichen Metalldraht bis zu dessen Spitze entlang geführt, welche einige mm aus der Glaskapillaren herausragt. Kapillare und Draht arbeiten somit in der Form eines Nadelventils. An der Drahtspitze ist die Photoresist-Lösung der Einwirkung eines relativ hohen elektrischen Feldes (Größenordnung 10^6 V/m) ausgesetzt. Bei dem hier vorgestellten Verfahren handelt es sich um eine rein elektrohydrodynamische Tröpfchenbildung und Tröpfchenaufladung. Durch das Zusammenspiel von Oberflächenspannung der Lösung und elektrischem Feld bildet sich ein sog. Taylorkonus aus. Von diesem Konus werden bei geeigneter Wahl von elektrischer Feldstärke, Formgebung der Drahtspitze und Oberflächenspannung der Lösung sog. Jets emittiert, die zu kleinen Tröpfchen in der Gasphase führen. Diese Tröpfchen sind auf Grund von elektrophoretischer Ladungstrennung im Taylor-Konus hoch geladen (Elektrohydrodynamische Ionenquelle). Die aktuelle Feldstärke E_K an der Spitze der Kapillare (Spitzenradius: r_K), die sich im Abstand d von einem Substrat befindet, berechnet sich hierbei mit U_K als Potential des Metalldrahtes zu (siehe D.P.H. Smith, IEEE Trans. Ind. Appl., IA-22 (1986) 527 und L.B. Loeb, A.F. Kip, G.G. Hudson, W.H. Bennett, Phys. Rev., 60 (1941) 714):

$$E_K \approx \frac{2 \cdot U_K}{r_K \cdot \ln(4d/r_K)} \quad (1)$$

Die Instabilität des Taylorkonus, bei der der Sprayvorgang einsetzt, tritt nach Taylor (siehe G.I. Taylor, Proc. R. Soc. A, A280 (1964) 383) bei der Feldstärke E_{on} auf:

$$E_{on} = \left(\frac{2\gamma \cos\theta_0}{\epsilon_0 r_K} \right)^{1/2}, \quad (2)$$

hierbei sind θ_0 der halbe Öffnungswinkel des Taylorkonus und γ die Oberflächenspannung der Flüssigkeit. Mit $\theta_0 = 49,3^\circ$ für den Taylorkonus gilt dann für die entsprechende Spannung bei Einsetzen des Sprühvorganges:

$$U_{on} \approx 2 \cdot 10^5 \sqrt{\gamma \cdot r_K} \cdot \ln \frac{4d}{r_K}. \quad (3)$$

Ohne Gaszufuhr durch eine weitere — äußere — Kapillare aus Glas oder einem anderen isolierenden Material ist die Tröpfchenbildung also auf eine durch die Oberflächenladung des Taylor-Konus bewirkte Instabilität zurückzuführen. Mit Gaszufuhr ist die Tröpfchenbildung nahezu ausschließlich durch den aus der äußeren Glaskapillaren zusätzlich austretenden turbulenten Gasfluß (meist Stickstoff) verursacht (Gasphasenreaktionen). Durch die zusätzliche Edelgasatmosphäre in der Nähe der Kapillarspitze wird die Bildung und Aufladung der Tröpfchen entkoppelt, d. h.: In diesem Fall wird die duale Funktion des elektrischen Feldes (Aufladung und Vernebelung des Photoresist-Materials) aufgehoben. Hierdurch erhöht sich die Anzahl der Freiheitsgrade für die Wahl der Flußrate der Lösung, der Tröpfchengröße und des Lösungsmittels. Es kann also gezielt Einfluß auf die Ladung und Größe der Tröpfchen genommen werden. Die Tröpfchen besitzen Durchmesser im mesoskopischen Bereich ($\varnothing = 0,05 - 1 \mu\text{m}$).

Der Transport der entstandenen Tröpfchen geschieht durch Drift im elektrischen Feld zum Substrat. Die versprühten Tröpfchen der Lösung enthalten noch Polymermolekülen und Lösungsmittelmoleküle. Bei geeignetem Abstand zwischen Kapillarende und Substratoberfläche verdampfen die Lösungsmittelmoleküle bevor die Tröpfchen die Oberfläche erreichen. Hierdurch wird ein direktes Fließen des Photoresists auf der Substratoberfläche verhindert. Mittels der Ionenlinse ist eine Fokussierung der Tröpfchen auf das Substrat und damit eine Einstellung der Größe des besprühten Substratbereiches möglich. Auf Grund dieses gezielten Versprühens besitzt das hier vorgestellte System eine Transferrate von nahezu 100%. Optional wird auch ein Gitter über dem Substrat bzw. ein Extraktor direkt vor der Kapillare eingesetzt. Das Gitter wird auf Substratpotential gelegt. Hierdurch entsteht zwischen Gitter und Substrat ein feldfreier Raum. Somit können Photoresist-Tröpfchen auch tiefe Gräben oder Hohlräume erreichen, in die sie sonst entsprechend des Verlaufes der elektrischen Feldlinien nicht gelangen würden. Der Extraktor dient im Zusammenspiel mit der Ionenlinse zur Strahlbildung bzw. Strahlfokussierung.

Obwohl es sich bei den üblichen Photoresist-Materialien um Mehrkomponenten-Systeme (internes und externes Lösungsmittel des Photoresist, schichtbildendes Novolack-Harz, Inhibitoren) handelt, findet weder eine Fraktionierung noch eine Degradation der Photopolymere statt. Somit können die erzeugten Photoresist-Schichten photolithographisch weiterverarbeitet werden. Eine besonders hohe Homogenität der aufgesprühten Schichten wird durch eine Prozeßführung unter Lösungsmittelatmosphäre oder durch eine Nachbehandlung der Photoresist-Filme in einer Lösungsmittelatmosphäre erreicht. Hierdurch kann ein lateraler Fließprozeß während oder im Anschluß an den Sprühprozeß gezielt eingestellt werden. Durch Rotation, Schwingung oder Translation des Substrates können beliebig orientierte Oberflächen beschichtet werden.

Die mit der Erfindung erzielten Vorteile sind

— im Vergleich zur elektrostatischen Sprühbelackung:

— Die Tröpfchengröße ist dynamisch einstellbar (z. B. durch die Gaszufuhr beim Ionenspray) und kann somit leicht an die jeweilige Problemstellung angepaßt werden. Die Durchmesser der Tröpfchen liegen zwischen $0,05 \mu\text{m}$ und $1 \mu\text{m}$.

— Es handelt sich um ein extrem wirtschaftliches Verfahren.

* Die Transferrate ist aufgrund der sehr kurzen Zuführungswege noch größer als bei der elektrostatischen Sprühbelackung und erreicht nahezu 100%.

* Die Anschaffungskosten der Vorrichtung sind um ca. eine Größenordnung niedriger (zwischen 10 000 DM und 20 000 DM).

* Der Platzbedarf der Vorrichtung ist sehr gering, was bei den hohen Unkosten pro Reinraumflächeneinheit von besonderer Bedeutung ist. Zudem ergibt sich aus dem geringen Platzbedarf die äußerst vorteilhafte Möglichkeit der Integration in eine bestehende Spin-Coating-Maschine als alternativen Prozeßschritt. Insbesondere ist die Benutzung des gleichen Aufbaus in ei-

- Leerseite -